

## *TVOCs and BTEX Concentrations in the Air of South Pars Special Economic Energy Zone*

Azam Keramati<sup>1</sup>,  
Ramin Nabizadeh Nodehi<sup>2</sup>,  
Roshanak Rezaei Kalantary<sup>3</sup>,  
Shahrokh Nazmara<sup>4</sup>,  
mir Zahedi<sup>5</sup>,  
Ali Azari<sup>6</sup>,  
Hossein Bahramifar<sup>7</sup>,  
Amir Hossein Mahvi<sup>8</sup>

<sup>1</sup> MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>4</sup> MSc in Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>5</sup> PhD Student in Environmental Health Engineering, School of Health, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

<sup>6</sup> PhD Student in Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>7</sup> BSc in petroleum engineering, Mehr Petrochemical Co., Pars Special Economic Energy Zone, Assaluyeh, Iran

<sup>8</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received July 27, 2015 Accepted November 3, 2015)

### **Abstract**

**Background and purpose:** Petrochemical industries and refineries are regarded as important emission sources of inorganic and organic pollutants. The aim of this study was to survey TVOCs and BTEX in the air of South Pars Special Economic Energy Zone in 2014.

**Materials and methods:** In a cross-sectional study sampling and analysis was done by NIOSH 1501 method. The study was carried out in 336 activated carbon tubes and personal sampling pump in 6 sampling stations during one year. The compounds were extracted by solvent carbon disulfide and analyzed using Gas Chromatography- Flame Ionization Detector (GC-FID). Data analysis was performed in SPSS Ver.18 applying Kruskal-Wallis, Fligner test and ANOVA.

**Results:** The mean concentrations of TVOCs and TBTEX were 229.34 and 31.23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in cold season and 212.19 and 29.89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in warm season, respectively. The mean concentrations of Benzene in all stations were 11.72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  which were higher than the threshold levels recommended by Iranian Clean Air Act and US Environmental Protection Agency (USEPA). The ANOVA results showed a significant difference between the concentration of pollutants and hour, month and sampling stations ( $P < 0.05$ ), but no significant difference was found between the concentration of pollutants and seasons ( $P > 0.05$ ).

**Conclusion:** The concentrations of measured pollutants in cold season were higher than those in warm season. High concentrations of Benzene in cold and warm seasons were used to identify areas of high exposure risk.

**Keywords:** TVOCs, BTEX, volatile organic compounds, activated carbon tubes, gas chromatography

# بررسی غلظت BTEX و VOCs در هوای منطقه ویژه پارس جنوبی

اعظم کرامتی<sup>۱</sup>  
رامین نبی زاده نودهی<sup>۲</sup>  
روشنک رضایی کلانتری<sup>۳</sup>  
شاهرخ نظم آرا<sup>۴</sup>  
امیر زاهدی<sup>۵</sup>  
علی آذری<sup>۶</sup>  
حسین بهرامی فر<sup>۷</sup>  
امیرحسین محوی<sup>۸</sup>

## چکیده

**سابقه و هدف:** صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌های گازی به عنوان یکی از منابع مهم انتشار آلاینده‌های غیر آلی و آلی به محیط زیست شناخته شده‌اند. هدف از این مطالعه بررسی غلظت کل ترکیبات آلی فرار (TVOCs) و آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزیلین (BTEX) در هوای منطقه ویژه پارس جنوبی در سال ۱۳۹۳ بوده است.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش یک مطالعه توصیفی - مقطعی می‌باشد. جهت نمونه‌برداری و آنالیز از روش ۱۵۰۱ مرکز تحقیقات ملی بهداشت و ایمنی شغلی ایالات متحده آمریکا استفاده شد. این مطالعه در طول یکسال (سال ۱۳۹۳) و با استفاده از ۳۳۶ لوله کربن فعال و پمپ نمونه‌برداری فردی در ۶ ایستگاه انجام گرفت. استخراج آلاینده‌ها از جاذب با استفاده از حلال دی‌سولفید کربن و تجزیه آن‌ها توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی با دکتور یونیزاسیون شعله (GC-FID) انجام شد. تحلیل داده‌های به دست آمده با استفاده از نسخه ۱۸ نرم افزار SPSS و آزمون‌های آماری فلیگنر-کیلن، کروسکال-والیس و آنالیز واریانس انجام گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مجموع غلظت ترکیبات آلی فرار (TVOCs) و میانگین غلظت کل BTEX در منطقه مورد مطالعه ۲۲۹/۳۴ و ۳۱/۲۳ میلی گرم بر متر مکعب در فصل سرد و ۲۱۲/۱۹ و ۲۹/۸۹ میلی گرم بر متر مکعب در فصل گرم بود. میانگین غلظت بنزن در تمامی ایستگاه‌ها ۱۱/۷۲ میلی گرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد که نسبت به استاندارد هوای پاک ایران و سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) بالاتر بود. نتایج آزمون‌های آماری و آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که بین غلظت آلاینده‌ها و ساعات، ماه‌ها و ایستگاه‌های نمونه‌برداری رابطه معنی‌داری وجود دارد ( $p < 0.05$ )، اما بین غلظت آلاینده‌ها و فصل سال رابطه معنی‌داری وجود نداشت ( $p > 0.05$ ). **استنتاج:** ارزیابی این ترکیبات نشان‌دهنده بالاتر بودن غلظت آن‌ها در فصل سرد نسبت به فصل گرم می‌باشد. از غلظت‌های بالای بنزن اندازه‌گیری شده در فصل سرد و گرم جهت شناسایی مناطق با ریسک بالای مواجهه استفاده شد.

**واژه‌های کلیدی:** ترکیبات آلی فرار، BTEX، جاذب کربن فعال، کروماتوگرافی گازی

## مقدمه

گسترش فناوری و رشد روزافزون صنایع مختلف، هزاران نوع ماده شیمیایی با ویژگی‌ها و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متفاوت کشف و مورد استفاده قرار می‌گیرند. آلاینده‌های تولیدی از فرآیندها و مراحل

E-mail: ahamahvi@yahoo.com

**مؤلف مسئول:** امیرحسین محوی- تهران: دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
  ۲. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
  ۳. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
  ۴. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
  ۵. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران
  ۶. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
  ۷. کارشناس مهندسی نفت، شرکت پتروشیمی مهر، منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، عسلویه، ایران
  ۸. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- © تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۵ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۴/۶/۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۸/۱۲

مختلف صنایع به اشکال مختلف وارد محیط زیست می‌شوند (۱). در میان انواع آلاینده‌های تولیدی آلاینده‌های آلی به خصوص ترکیبات آلی فرار به دلیل اثرات سرطان‌زایی برخی از آن‌ها اهمیت به‌سزایی دارند. از میان صنایع شیمیایی، پالایشگاه‌های نفتی و مجتمع‌های پتروشیمی به عنوان منابع بزرگ انتشار ترکیبات آلی فرار شناخته شده‌اند (۲). م

طالعات اخیر اثبات کرده است که غلظت ترکیبات آلی فرار در نزدیکی مجتمع‌های پتروشیمی بسیار بیش‌تر از نواحی مسکونی و حومه شهرها می‌باشد (۳،۲). مواجهه با ترکیبات آلی فرار می‌تواند به صورت استنشاق، بلع، تماس با چشم و جذب توسط پوست رخ دهد (۴). اطلاعات بسیاری حاکی بر این هستند که مواجهه کوتاه مدت با غلظت‌های خاص بعضی از ترکیبات آلی فرار موجود در هوا نمی‌تواند اثرات به شدت مضر بر روی سلامتی داشته باشد اما مواجهه طولانی مدت با این ترکیبات ممکن است اثرات موتاژنیک و سرطان‌زایی (لوسمی، تومورهای مغزی و سرطان مغز استخوان) را به دنبال داشته باشد (۵). در میان ترکیبات آلی فرار مربوط به صنایع پتروشیمی، ترکیبات آروماتیک شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزیلن (BTEX) دارای اهمیت زیادی در سلامت عمومی می‌باشند و می‌توانند تاثیر قابل توجهی بر روی سلامت و رفاه انسان‌ها و کیفیت هوا بگذارند (۶،۷). این ترکیبات در طبقه‌بندی آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) به عنوان آلاینده‌های اولویت دار دسته‌بندی شده‌اند (۴).

مطالعاتی که بر روی اثرات مزمن مواجهه از طریق استنشام با ترکیبات BTEX انجام شده نشان داده است که این ترکیبات دارای اثرات بالقوه نامطلوب بر سلامت انسان‌ها می‌باشند. در میان ترکیبات BTEX، بنزن از طرف USEPA، انجمن متخصصین بهداشت صنعتی ایالات متحده آمریکا (ACGIH) و آژانس بین‌المللی تحقیق بر روی سرطان (IARC) به عنوان سرطان‌زای قطعی انسانی معرفی گردیده است (۸-۱۰). مواجهه طولانی

مدت با تولوئن، اتیل بنزن و گزیلن اثرات نامطلوبی را بر روی سیستم‌های عصبی، تنفسی، کبد و کلیه‌ها می‌گذارد (۸،۱۱،۱۲).

Thepanondh و همکاران در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای تحت عنوان ترکیبات آلی فرار منتقله از طریق هوا و اثرات بالقوه بهداشتی آن‌ها در مجاورت مجتمع‌های پتروشیمی انجام دادند. غلظت متوسط سالیانه ۹ ترکیب آلی فرار که به عنوان ترکیبات سرطان‌زا شناخته می‌شوند با استانداردهای ایالتی کیفیت هوا مورد مقایسه قرار گرفته و چنین نتیجه‌گیری شد که غلظت این ترکیبات در مقایسه با استانداردها بسیار بالاتر است. این مطالعه همچنین ثابت کرد که هر دو منابع ثابت و متحرک نقش مهمی در توزیع این آلاینده‌ها دارند (۱۲). Cetin و همکاران در سال ۲۰۰۳ در پژوهشی با عنوان غلظت VOCs در اطراف مجتمع پتروشیمی و پالایشگاه نفتی نمونه‌های هوا را در سپتامبر ۲۰۰۰ تا سپتامبر ۲۰۰۱ و در سه ناحیه مشخص شده در ازمیر ترکیه جمع‌آوری کردند. غلظت VOCs ۲۰-۴ برابر بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده آن در نواحی خارج از شهر ازمیر بود (۳).

هدف از انجام این پژوهش بررسی غلظت BTEX و VOCs در هوای منطقه ویژه پارس جنوبی می‌باشد. اولین اقدام جهت ارائه راه کارهای مدیریتی و کنترلی آلاینده‌ها آگاهی از میزان غلظت آن‌ها در محیط، شناسایی منابع انتشار و مناطق با ریسک بالا می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این یک مطالعه مقطعی - توصیفی است که در سال ۱۳۹۳ در منطقه ویژه پارس جنوبی انجام گرفت. در این مطالعه کل ترکیبات آلی فرار (TVOCs) و چهار آلاینده مهم از این گروه یعنی بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزیلن (BTEX) اندازه‌گیری شد. برای تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، بر اساس نقشه شهرستان عسلویه، منطقه مورد مطالعه به چهار قسمت با مشخصات ذیل تقسیم‌بندی شد: (۱) منطقه صنعتی متاثر از مجتمع پتروشیمی (دو

ایستگاه در این قسمت انتخاب گردید؛ (۲) منطقه صنعتی متاثر از پالایشگاه‌های گازی (یک ایستگاه در این قسمت انتخاب گردید؛ (۳) منطقه مسکونی متاثر از منطقه صنعتی (دو ایستگاه در این قسمت انتخاب گردید؛ و (۴) منطقه بالا دست (یک ایستگاه به عنوان شاهد در این قسمت انتخاب گردید). بنابراین، در کل منطقه مورد مطالعه ۶ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب گردید.

نمونه‌برداری بر اساس روش ۱۵۰۱ مرکز تحقیقات ملی بهداشت و ایمنی شغلی ایالات متحده آمریکا (NIOSH 1501) انجام گرفت (۱۳). تمامی این عملیات در محدوده تنفسی کارکنان یعنی ۱/۵ متری از سطح زمین انجام گرفت و تعداد کل نمونه‌های گرفته شده از منطقه در طول یکسال ۳۳۶ نمونه بود. نمونه‌برداری‌ها از ساعت ۸ صبح و با فاصله زمانی دو ساعت تا ۶ بعدازظهر انجام شد. پمپ نمونه برداری با دبی ۰/۲ لیتر در دقیقه و به مدت ۱۲۰ دقیقه به کار گرفته شد. از پمپ نمونه‌برداری فردی مدل 5000 Air check به همراه لوله‌های حاوی کربن فعال ۱۵۰ میلی گرمی هر دو ساخت شرکت SKC (جلو ۱۰۰ میلی گرم و عقب ۵۰ میلی گرم) و جهت اندازه‌گیری تخمینی کل ترکیبات آلی (TVOCs) نیز از دستگاه سنجش آنالین TVOCs (PHOCHECK 5000EX<sup>+</sup>) استفاده شد.

تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده (CS<sub>2</sub>، بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلین) با درجه خلوص مناسب جهت انجام آزمایشات و رسم منحنی استاندارد از شرکت مرک آلمان تهیه گردید. جهت انجام آنالیز نمونه‌ها از ویال‌های ۵ و ۱۰ میلی لیتری، سرنگ تزریق به GC و دستگاه گاز کروماتوگرافی با دتکتور شعله یونیزان (GC-FID) مدل Varian CP-۳۸۰۰ استفاده شد. این مطالعه در دو فصل سرد و گرم انجام گرفت

که از کل تعداد نمونه‌ها، ۱۶۹ نمونه برای فصل سرد و ۱۶۷ نمونه برای فصل گرم بود. داده‌های به دست آمده با استفاده از نسخه ۱۸ نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های آماری فلیگنر-کیلن، کروسکال-والیس و آنالیز واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج با استانداردهای موجود مقایسه و گزارش گردید (جدول شماره ۱) (۱۴).

## یافته ها

جدول شماره ۲ نشان‌دهنده غلظت آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزیلن (BTEx) و کل ترکیبات آلی فرار (TVOCs) در فصل سرد و گرم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طور که از جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود میانگین غلظت بنزن در فصل سرد ۱۱/۹۷ و در فصل گرم ۱۱/۴۷ میکروگرم بر متر مکعب است که در مقایسه با دیگر آلاینده‌های اندازه‌گیری شده بیش‌ترین مقدار را داراست. بر اساس این جدول میانگین غلظت تمامی آلاینده‌های اندازه‌گیری شده در فصل سرد بیش‌تر از فصل گرم می‌باشد.

جدول شماره ۳ غلظت آلاینده‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه را در هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری ارائه می‌دهد. همان‌گونه که از داده‌های جدول مشهود می‌باشد، بیش‌ترین غلظت بنزن در ایستگاه شماره ۴ با میانگین ۱۳/۷۹ و سپس در ایستگاه شماره ۱ با میانگین ۱۳/۱ میکروگرم بر متر مکعب بوده است که در مقایسه با سایر آلاینده‌های اندازه‌گیری شده بیش‌ترین غلظت را در منطقه مورد مطالعه داشته است. نتایج حاصل از آزمون‌های آماری بین آلاینده‌های مورد بررسی و فاکتورهای فصل، ماه و زمان در جدول شماره ۴ گزارش شده است.

جدول شماره ۱: مقادیر استاندارد سازمان‌های جهانی و قانون هوای پاک ایران برای ترکیبات آلی فرار (۱۵)

سازمان	بنزن	تولوئن	اتیل بنزن	زایلین	TVOCs
WHO	۵ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	۱/۵ ppm	-	-	-
استاندارد سازمان‌های ایران و	-	-	-	-	-
استاندارد USEPA برای هوای تنفسی	۹/۵۸ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۰۰۳ ppm	۸۷ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	۰/۲۳ ppm	۵۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
				۳۹۹۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	۱۶۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
				۰/۹۲ ppm	۱۶۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**جدول شماره ۲:** میانگین، میانه و انحراف معیار آلاینده های اندازه گیری شده (BTEX و TVOCs) در منطقه پارس جنوبی در فصل سرد و گرم بر حسب میکروگرم بر متر مکعب

ترکیبات	فصل سرد			فصل گرم		
	میانگین	میانه	انحراف معیار	میانگین	میانه	انحراف معیار
تولون	۹/۹۹	۹/۵۱	۴/۳۹	۹/۶۳	۹/۵۴	۴/۴۹
بنزن	۱۱/۹۷	۱۳/۰۵	۴/۵۲	۱۱/۴۷	۱۲/۵۴	۴/۳۶
اتیل بنزن	۱/۶۰	۱/۵۱	۰/۸۵۱	۱/۲۸	۱/۰۸	۰/۸۹
O-M-P-گزیلین	۱/۶۷	۷/۶۷	۴/۴۳	۷/۵۱	۷/۳۴	۴/۸۲
TBTEX	۳۱/۳۳	۳۲/۵۴	۱۱/۴۸	۲۹/۸۹	۳۰/۳۰	۱۲/۲۲
کل ترکیبات آلی فرار (TVOCs)	۲۱۹/۳۴	۲۴۵/۰۰	۴۹/۷۲	۲۱۲/۱۹	۲۳۳/۵۳	۵۳/۹۱

**جدول شماره ۳:** آمار توصیفی آلاینده های اندازه گیری شده (BTEX و TVOCs) در منطقه پارس جنوبی در ایستگاه های مورد مطالعه بر حسب میکروگرم بر متر مکعب

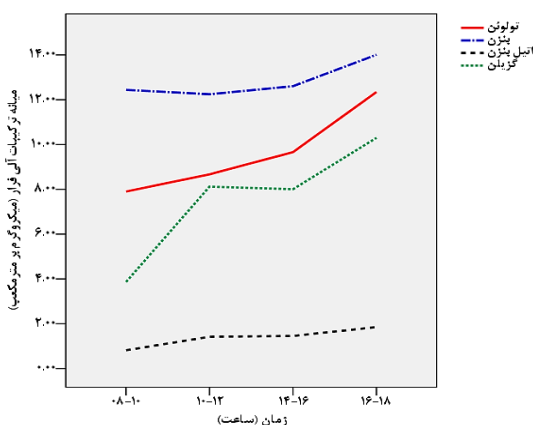
ترکیبات	ایستگاه	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
بنزن	شماره ۱	۱۳/۱	۱۳/۶۵	۳/۵	۳/۷۲	۱۸/۲۵
	شماره ۲	۱۲/۷۳	۱۲/۵۹	۲/۷۵	۵/۰۶	۱۹/۸۴
	شماره ۳	۱۲/۴۴	۱۲/۷۶	۲/۹۲	۵/۶۸	۱۸/۷۴
	شماره ۴	۱۳/۷۹	۱۳/۱۸	۳/۳۰	۷/۱	۲۰/۵۳
	شماره ۵	۱۲/۹۵	۱۲/۸۲	۳/۵۵	۶/۵	۲۲/۵۸
تولون	شماره ۶ (شاهد)	۳/۹۶	۳/۵۸	۱/۹۲	۱/۵۹	۱۳/۶۷
	شماره ۱	۱۲/۵۲	۱۲/۴۰	۴/۲	۳/۱۷	۲۸/۴۱
	شماره ۲	۱۰/۳۳	۹/۶۷	۳/۲۳	۳/۷۰	۱۷/۶۸
	شماره ۳	۱۰/۶۹	۹/۹۸	۳/۲۶	۳/۳۲	۲۱/۴۲
	شماره ۴	۹/۶۸	۹/۰۶	۳/۶۶	۳/۰۷	۱۶/۶۸
اتیل بنزن	شماره ۵	۹/۶۸	۹/۱۴	۳/۱۹	۳/۸۵	۱۶/۶۴
	شماره ۶ (شاهد)	۳/۳۴	۳/۲۷	۱/۱۹	۱/۱۴	۶/۵۲
	شماره ۱	۲/۰۶	۱/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۳	۴/۱۳
	شماره ۲	۱/۲۸	۱/۲۷	۰/۶۹	۰/۰۱	۲/۵
	شماره ۳	۱/۵۶	۱/۵۳	۰/۷۶	۰/۱۱	۴/۲۴
O-M-P-گزیلین	شماره ۴	۱/۰۵	۰/۹۳	۰/۷۲	۰/۰۴	۲/۹۴
	شماره ۵	۱/۱۸	۱/۱	۰/۷۱	۰/۰۶	۳/۲۶
	شماره ۶ (شاهد)	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۴۸	۰/۰۳	۲/۱۱
	شماره ۱	۱۱/۰۵	۱۰/۵۳	۴/۴	۱/۹۱	۲۷/۹۴
	شماره ۲	۷/۱۹	۶/۶۱	۳/۳۱	۱/۶۱	۱۶/۱۵
TBTEX	شماره ۳	۸/۹۵	۸/۶۶	۳/۵۳	۲/۸۸	۲۰/۸۷
	شماره ۴	۶/۰۵	۵/۷	۳/۳۶	۱/۵۷	۱۶/۱۷
	شماره ۵	۷/۱۸	۶/۵۲	۳/۵۷	۱/۶۷	۱۶/۰۷
	شماره ۶ (شاهد)	۱/۶۲	۱/۴۷	۰/۷۲	۰/۱۶	۳/۱۹
	شماره ۱	۳۸/۷۳	۳۸/۵۴	۹/۶۲	۱۹/۰۴	۷۵/۱۶
کل ترکیبات آلی فرار (TVOCs)	شماره ۲	۳۱/۴۳	۳۰/۱۵	۶/۵۶	۱۷/۹۵	۵۰/۹۵
	شماره ۳	۳۳/۶۶	۳۲/۹۷	۷/۴۱	۱۸/۸۵	۵۸/۸۰
	شماره ۴	۳۰/۵۹	۳۰/۶	۷/۵۴	۱۹/۹۱	۴۹/۹۷
	شماره ۵	۳۱/۰۱	۲۹/۵۴	۷/۸۴	۱۶/۸۳	۵۰/۵۷
	شماره ۶ (شاهد)	۹/۸۲	۹/۴۴	۳/۴۹	۳/۹۴	۲۱/۳
کل ترکیبات آلی فرار (TVOCs)	شماره ۱	۲۵۴/۶۷	۲۵۳/۳۲	۳۲/۲۷	۱۴۵	۳۴۷
	شماره ۲	۲۳۱/۴۹	۲۳۸	۳۰/۳۲	۱۴۰/۹	۲۹۸
	شماره ۳	۲۳۹/۷۹	۲۴۰/۷۵	۲۵/۶۷	۱۸۴	۳۱۵
	شماره ۴	۲۲۰/۴۸	۲۲۸/۶۷	۳۷/۶۱	۱۳۸/۴	۲۸۸/۶
	شماره ۵	۲۲۱/۹۸	۲۳۷/۳۵	۳۹/۶۱	۱۳۷	۲۷۵/۱
شماره ۶ (شاهد)	۱۲۲/۶	۱۲۱/۵	۱۶/۸۱	۹۶/۴۵	۱۷۵	

**جدول شماره ۴:** ارتباط معنی دار ترکیبات آلی فرار با فصل، ماه، ساعات و ایستگاه های نمونه برداری با استفاده از آزمون های فلیگنر-کیلن و کروسکال-والیس

p-آزمون فلیگنر-کیلن				
فصل	بنزن	تولون	اتیل بنزن	گزیلین
فصل	۰/۳۰۰۵۱	۰/۳۴۳۴	۱/۷۸-۰۵	۰/۷۰۹
ماه	۰/۰۰۵۲۳	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۲	۴/۳۳۸-۰۵
زمان (ساعت)	۰/۰۰۹۸۵	۱/۷۷۸-۰۹	<۲۸-۱۶	<۲۸-۱۶
p-آزمون کروسکال-والیس				
ایستگاه نمونه برداری	بنزن	تولون	اتیل بنزن	گزیلین
ایستگاه نمونه برداری	<۲/۲۸-۱۶	<۲/۲۸-۱۶	۸/۱۰۸۸-۱۶	<۲/۲۸-۱۶

همان طور که در جدول مربوطه مشاهده می شود بر اساس آزمون فلیگنر-کیلن بین غلظت بنزن، تولون و گزیلین و فصل سال ارتباط معنی داری وجود ندارد ( $p > 0.05$ ) ولی بین غلظت آلاینده اتیل بنزن و فصل سال ارتباط معنی داری ( $p < 0.05$ ) وجود دارد. آزمون فلیگنر-کیلن هم چنین نشان داد که بین ترکیبات آلی اندازه گیری شده در این مطالعه و ماه ها و ساعات مختلف نمونه برداری ارتباط معنی داری وجود دارد.

بر اساس آزمون کروسکال-والیس بین ترکیبات آلی فرار اندازه گیری شده در منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری ارتباط معنی داری وجود دارد. نمودار شماره ۱ روند تغییرات زمانی آلاینده های اندازه گیری شده را در طول ساعات نمونه برداری ارائه می دهد. بر اساس این نمودار تمامی آلاینده ها در ابتدای روز در پایین ترین سطح خود بوده و سپس در پایان روز به بیش ترین مقدار خود رسیده اند.



**نمودار شماره ۱:** غلظت ترکیبات آلی در طی ساعات مختلف نمونه برداری بر حسب میکروگرم بر متر مکعب

## بحث

امروزه ترافیک و صنایع شیمیایی مخصوصاً پالایشگاه‌های نفتی و مجتمع‌های پتروشیمی از جمله مهم‌ترین منابع انتشار ترکیبات آلی فرار به اتمسفر می‌باشند (۱۶). این ترکیبات به دلیل پتانسیل سرطان‌زایی از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند. از مهم‌ترین نگرانی‌های استفاده از ترکیبات آلی فرار می‌توان به اثرات سوء بهداشتی و زیست محیطی آن‌ها بر مناطق شهری و مسکونی، مدارس، مراکز خرید و اماکن عمومی اشاره کرد که در مجاورت صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌های نفتی قرار گرفته‌اند (۱۷).

مطالعه حاضر نشان داد که میانگین غلظت کل ترکیبات آلی فرار (TVOCs) در منطقه پارس جنوبی در دو فصل سرد و گرم به ترتیب ۲۲۹/۳۴ و ۲۱۲/۱۹ میکروگرم بر متر مکعب بوده است که نسبت به استاندارد USEPA (۱۶۰ میکروگرم بر متر مکعب) بیش‌تر و تقریباً دو برابر آن است. همان‌گونه که در جداول شماره ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، غلظت بنزن و کل ترکیبات آلی فرار از حدود استاندارد اعلام شده از سوی سازمان‌های مربوطه بیش‌تر بوده، در حالی که دیگر آلاینده‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر از محدوده استاندارد‌های تعیین شده کم‌تر می‌باشند. Civan و همکاران در سال ۲۰۱۵ به مطالعه تغییرات فضایی و دمایی غلظت ترکیبات آلی فرار،  $\text{NO}_2$ ،  $\text{SO}_2$  و ازون در اتمسفر و نیز ارزیابی ریسک سرطان‌زایی بنزن در نواحی صنعتی در غرب کشور ترکیه پرداختند. این مطالعه در دو فصل زمستان و تابستان در طی سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ انجام گرفت. آن‌ها گزارش نمودند که فعالیت‌های صنعتی و وسایل حمل و نقل مهم‌ترین منابع تولید غلظت بالای ترکیبات آلی فرار، دی اکسید نیتروژن و دی اکسید گوگرد در اطراف پالایشگاه‌ها، مجتمع‌های پتروشیمی و جاده‌ها می‌باشند. Civan و همکاران پس از ارزیابی ریسک سرطان‌زایی بنزن، مجتمع‌های پتروشیمی، پالایشگاه‌های نفتی و ترافیک را منابع اصلی

خطر ابتلا به سرطان ناشی از بنزن معرفی کردند (۱۸). بر اساس جدول شماره ۲ غلظت آلاینده‌های آلی اندازه‌گیری شده در فصل سرد بیش‌تر از فصل گرم می‌باشد که از دلایل مهم آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی تروپسفریک و متعاقباً تبدیل آلاینده‌های آلی به آلاینده‌های ثانویه در فصل گرم نسبت به فصل سرد و کاهش غلظت آلاینده‌های آلی در فصل گرم، صعود بیش‌تر و بهتر آلاینده‌ها به سطوح بالاتر جوی در فصل گرم و انتقال آن‌ها توسط جریان‌های جوی بالا دستی، وقوع بیش‌تر پایداری هوا و پدیده وارونگی در فصل سرد و باقی ماندن آلاینده‌ها در جو پایین.

Roukos و همکاران در سال ۲۰۰۷ به تعیین غلظت ترکیبات آلی فرار در یک شهر صنعتی در جنوب فرانسه پرداختند. آن‌ها مشاهده کردند که غلظت ترکیبات آلی فرار در فصل زمستان بیش‌تر از فصل تابستان می‌باشد (۱۹) که با نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر همخوانی دارد. همان‌طور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود بیش‌ترین آلاینده اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه بنزن و کم‌ترین آلاینده اتیل بنزن می‌باشد. میانگین غلظت بنزن اندازه‌گیری شده در فصل سرد و گرم به ترتیب ۱۱/۹۷ و ۱۱/۴۷ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد که از حدود استاندارد هوای پاک ایران معادل ۵ میکروگرم بر متر مکعب و استاندارد هوای تنفسی USEPA معادل ۰/۰۳ ppm بیش‌تر است. Thepanondh و همکاران در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای برای تعیین غلظت ترکیبات آلی فرار منتقله از طریق هوا و اثرات بالقوه بهداشتی آن‌ها در مجاورت مجتمع‌های پتروشیمی انجام دادند. در این بررسی غلظت متوسط سالیانه ۹ ترکیب آلی فرار که به عنوان ترکیبات سرطان‌زا شناخته می‌شوند با استانداردهای ایالتی کیفیت هوا مقایسه و گزارش شد که غلظت بنزن در محدوده‌ای بسیار بالاتر از استانداردها قرار دارد (۱۲). نتایج مطالعه Thepanondh و همکاران نیز با مطالعه حاضر همخوانی دارد. جدول شماره ۳ داده‌های مربوط به هر یک از ایستگاه‌های

نمونه‌برداری را ارایه می‌دهد. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که ایستگاه شماره ۱ بیش‌ترین آلودگی و ایستگاه شماره ۶ (ایستگاه شاهد) کم‌ترین آلودگی را از نظر حضور ترکیبات آلی فرار دارند. ایستگاه شماره ۱ به دلیل استقرار چندین مجتمع پتروشیمی بزرگ در مجاورت همدیگر و تعدد فرآیندهای تولیدی و همچنین بالا بودن حجم خوراک مصرفی و محصولات تولیدی بیش‌ترین آلودگی را از نظر ترکیبات آلی فرار دارد. نمودار شماره ۱ روند تغییرات زمانی آلاینده‌های اندازه‌گیری شده را در طول ساعات نمونه‌برداری نشان می‌دهد. تمامی آلاینده‌ها در ابتدای روز در پایین‌ترین سطح خود بوده و در پایان روز به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسند. ترکیبات آلی فرار وابستگی شدیدی به درجه حرارت محیط دارند، از این رو هرچه درجه حرارت بالاتر باشد میزان انتشار ترکیبات آلی فرار به محیط نیز بیش‌تر می‌شود. بنابراین، این آلاینده‌ها در ابتدای روز در پایین‌ترین سطح و در پایان روز در بالاترین سطح خود می‌باشند.

نتایج مطالعه Odabasi و همکاران در سال ۲۰۰۲ و Lin و همکاران در سال ۲۰۰۴ نشان داد که غلظت ترکیبات آلی فرار در بعدازظهر بیش‌تر از اوایل روز می‌باشد (۲۰، ۲۱). برای مقایسه میانگین غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزین در دو فصل سرد و گرم، ماه‌ها، ساعات و ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری از روش آنالیز واریانس استفاده گردید.

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که غلظت ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در منطقه مورد

مطالعه در فصل سرد بیش‌تر از فصل گرم بوده و در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حد مجاز توصیه شده بالاتر بوده است. همچنین مشخص گردید که از بین آلاینده‌های مورد مطالعه بنزن بیش‌ترین غلظت را در تمامی ایستگاه‌ها داشته و از مقادیر استاندارد موجود فراتر رفته است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش راه کارهای مدیریتی و کنترلی جهت حذف و کاهش آلاینده‌ها و اثرات آن‌ها الزامی می‌باشد که در ذیل پیشنهاداتی در این خصوص ارایه می‌گردد: افزایش سطح آگاهی افراد ساکن در منطقه مورد مطالعه در خصوص خطرات و اثرات آلاینده‌های مورد نظر، کاهش مدت زمان مواجهه شاغلین با کم کردن ساعت کاری از ۱۲ ساعت به ۸ ساعت (ساعت کاری استاندارد تعیین شده از سوی سازمان‌های ذیربط)، جابه‌جایی و انتقال اماکن مسکونی به خارج از منطقه صنعتی، پایش مداوم آلاینده‌ها در منطقه، و استفاده شاغلین از وسایل حفاظت فردی مناسب جهت جذب ترکیبات آلی فرار

## سپاسگزاری

این مطالعه بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط خانم اعظم کرامتی می‌باشد که با حمایت و پشتیبانی واحد پژوهش و فن آوری سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس اجرا شده است. لذا بدین وسیله از حمایت های مادی و معنوی این واحد تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## References

1. Maghsoodi Moghadam R, Bahrami A, Mahjoob H, Ghorbani F. Evaluation of Benzene, Toluene and P, M&O-Xylene contaminants at Mahshahr petrochemical complex during 2008-9. Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences 2011; 19(2): 49-59 (Persian).
2. Tiwari V, Hanai Y, Masunaga S. Ambient levels of volatile organic compounds in the vicinity of petrochemical industrial area of Yokohama, Japan. Air Qual Atmos Health 2010; 3(2): 65-75.
3. Cetin E, Odabasi M, Seyfioglu R. Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical complex and a petroleum refinery. Sci Total Environ 2003; 312(1-3): 103-112.

4. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Integrated Risk Information System (IRIS). 2014b [cited 2014 January]; Available from: <http://www.epa.gov/iris/index.html>.
5. Atari DO, Luginaah IN, Gorey K, Xu X, Fung K. Associations between self-reported odour annoyance and volatile organic compounds in 'Chemical Valley', Sarnia, Ontario. *Environ Monit Assess* 2013; 185(6): 4537-4549.
6. Hinwood AL, Rodriguez C, Runnion T, Farrar D, Murray F, Horton A, et al. Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities. *Chemosphere* 2007; 66(3): 533-541.
7. Yeom SH, Daugulis AJ. Development of a novel bioreactor system for treatment of gaseous benzene. *Biotechnol Bioeng* 2001; 72(2): 156-165.
8. ASTDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicology information sheets. 1995 [cited 2010 20 June]; Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/N>. Accessed May 2, 2015.
9. Wang T, Bo P, Bing T, Zhaoyun Z, Liyu D, Yonglong L. Benzene homologues in environmental matrixes from a pesticide chemical region in China: Occurrence, health risk and management. *Ecotoxicol Environ Saf* 2014; 104: 357-364.
10. Gonzalez-Flesca N, Nerriere E, Leclerc N, Le Meur S, Marfaing H, Hautemaniere A, et al. Personal exposure of children and adults to airborne benzene in four French cities. *Atmospheric Environment* 2007; 41(12): 2549-2558.
11. Durmusoglu E, Taspinar F, Karademir A. Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *J Hazard Mater* 2010; 176(1-3): 870-877.
12. Thepanondh S, Varoonphan J, Sarutichart P, Makkasap T. Airborne volatile organic compounds and their potential health impact on the vicinity of petrochemical industrial complex. *Water, Air, & Soil Pollution* 2011; 214(1): 83-92.
13. Hydrocarbons, A., Method 1501, in NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Four. Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1501.pdf>. Accessed May 2, 2015.
14. Williams PR, Panko JM, Unice K, Brown JL, Paustenbach DJ. Occupational Exposures Associated with Petroleum-Derived Products Containing Trace Levels of Benzene. *J Occup Environ Hyg* 2008; 5(9): 565-574.
15. Rashidi R, Almasian M. The measurement of volatile organic compounds in the ambient air of Khorramabad city and its comparison with current standards. *YJMS* 2015; 16(4): 54-61 (Persian).
16. Pekey B, Yilmaz H. The use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey. *Microchemical Journal* 2011; 97(2): 213-219.
17. De Santis F, Fino A, Menichelli S, Vazzana C, Allegrini I. Monitoring the air quality around an oil refinery through the use of diffusive sampling. *Anal Bioanal Chem* 2004; 378(3): 782-788.
18. Yilmaz Civan M, Elbir T, Seyfioglu R, Oğuz Kuntasal O, Bayram A, Doğan G, et al. Spatial and temporal variations in atmospheric VOCs, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> concentrations at a heavily industrialized region in Western Turkey, and assessment of the carcinogenic risk levels of benzene. *Atmospheric Environment* 2015; 103: 102-113.



19. Roukos J, Riffault V, Locoge N, Plaisance H. VOC in an urban and industrial harbor on the French North Sea coast during two contrasted meteorological situations. *Environ Pollut* 2009; 157(11): 3001-3009.
20. Odabasi M, Muezzinoglu A, Bozlaker A. Ambient concentrations and dry deposition fluxes of trace elements in Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment* 2002; 36(38): 5841-5851.
21. Lin TY, Sree U, Tseng SH, Chiu KH, Wu CH, Lo JG. Volatile organic compound concentrations in ambient air of Kaohsiung petroleum refinery in Taiwan. *Atmospheric Environment* 2004; 38(25): 4111-4122.